

冬小麦限水灌溉条件下磷肥 补偿效应的研究

李建民¹, 兰霞^{*1}, 王璞, 周殿玺¹, 张建华²

(1 中国农业大学农学系, 北京 100094; 2 香港浸会大学生物学系, 香港)

摘要: 为探索磷肥对土壤水分亏缺的补偿效应, 研究了灌水和施磷对冬小麦耗水和产量等的影响。结果表明, 冬小麦总耗水量与灌水量成正相关关系, 而土壤贮水消耗量与灌水量成负相关关系; 施磷能提高作物耗水量, 促进深层土壤水分的消耗。灌水和施磷均能显著提高冬小麦产量; 两者相比, 灌水增加了单位面积穗数和提高了千粒重, 而施磷仅增加了穗数。灌水对经济系数无明显影响, 但明显降低水分利用效率; 施磷对经济系数和水分利用效率均无明显影响。上述结果表明, 冬小麦增施磷肥对限水灌溉具有一定的补偿作用。

关键词: 冬小麦; 限水灌溉; 磷肥; 耗水; 产量

中图分类号: S512 110.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(1999)04-0083-05

限水灌溉通常会导致一定程度的土壤水分胁迫, 从而影响冬小麦的株高、分蘖和叶面积等生长发育指标, 并通过光合作用等生理过程影响作物的产量^[1,2]。因此, 怎样用其它栽培技术措施来补偿限水灌溉对作物的不利影响, 应是冬小麦节水高产研究的重要内容。前人的研究^[3-5]表明, 增施磷肥和需水临界期灌水等农艺措施都有利于提高作物的抗旱能力, 从而减少限水灌溉对作物产量的影响。本研究在前人研究的基础上, 进一步探讨了冬小麦增施磷肥对限水灌溉条件下作物耗水、产量结果等的补偿效应。

1 材料和方法

试验在河北省沧州地区吴桥县中国农业大学吴桥实验站进行。冬小麦前茬为夏玉米, 土壤为壤质底粘潮土, 土层深厚。耕层有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾的含量分别为 0.98%、0.055%、64.8 mg·kg⁻¹、28.2 mg·kg⁻¹和 79.1 mg·kg⁻¹。

试验采用灌水为主区、磷肥为副区的裂区设计。4个灌水水平为春后无水(W0)、一水(W1, 拔节期灌水)、二水(W2, 拔节期和开花末期灌水)和三水(W3, 拔节期、开花始期和灌浆期灌水), 生育期内的灌水量分别为 0、95、190、270 mm; 3个磷肥水平为无磷(P0)、单磷(P1)和倍磷(P2), P₂O₅施用量分别为 0、88.5 和 177.0 kg·hm⁻²。试验共 12 个处理, 每处理重复 3 次。

供试冬小麦品种为冀麦 38, 1995 年 10 月 19 日播种, 基本苗 720 株·m⁻²。播种前灌足底

收稿日期: 1998-08-09

基金项目: 国家“九·五”攻关项目和国家自然科学基金资助项目。*现工作单位为广州仲恺农学院农学系。

作者简介: 李建民, 男, 1958 年生, 副教授, 农学博士, 主要从事小麦节水、省肥及化学调控技术研究和农学教学工作。

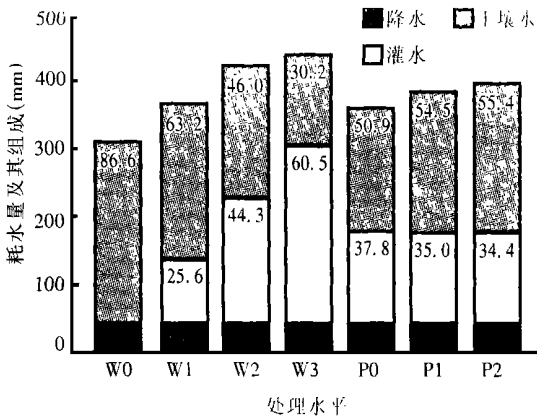
墒水。基肥除有机肥 $30\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、尿素 $187.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 外, 磷肥按试验要求, P0, P1 和 P2 处理分别施用三料过磷酸钙 0, 187.5 和 $375.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。春后拔节期追施尿素 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。春后无水处理的追肥并入基肥施用。

播种当日, 用土钻法分层测定土壤含水量, 计算土壤贮水量。然后, 根据冬小麦生育期内的降水量、灌水量和成熟期测定的土壤含水量, 计算各处理的实际耗水量。在成熟期, 每一小区选择有代表性的样区 2 个, 每样区为 1 m^2 , 测定各样段的穗数、穗粒数、千粒重、生物产量和子粒产量。数据比较采用量小显著极差法(LSR)。

2 结果与分析

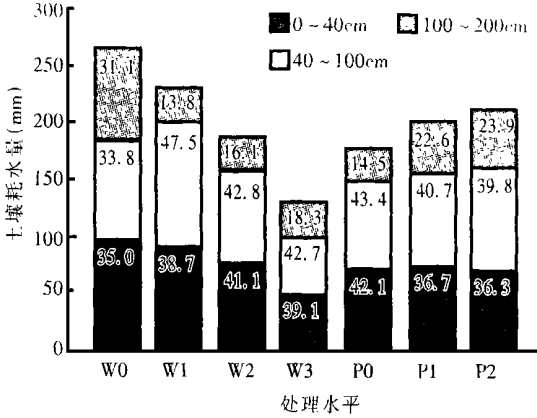
2.1 灌水与施磷对作物耗水的影响

1995~1996 年度属极端干旱少雨年份, 冬小麦生育期内仅降水 41.4 mm。因此, 从作物耗水的水源组成(图 1)来看, 春后无水处理(W0)的作物耗水主要来自于土壤贮水; 随着灌水处理 W1, W2 和 W3 的灌水量增加, 作物耗水的主要来源逐渐由土壤贮水向灌溉补水过渡, 总耗水量也呈相应增加的趋势。回归分析结果表明, 土壤贮水消耗量与灌水量成密切的负相关关系($r=-0.956^{**}$); 冬小麦总耗水量与灌水量成密切的正相关关系($r=0.963^{**}$)。比较不同磷肥水平(P0、P1 和 P2)可以看出, 施磷有助于增加土壤贮水消耗、提高冬小麦总耗水量。



注: 图中数据为各水源占总耗水的百分比

图 1 灌水、施磷对耗水量及其组成的影响



注: 图中数据为各土层占总贮水消耗量的百分比

图 2 灌水、施磷对不同土层贮水消耗量的影响

把 2 m 土体分成上(0~40 cm)、中(40~100 cm)、下(100~200 cm)三个土层, 分析土壤贮水的消耗状况(图 2)可以看出, 无水处理(W0)中, 土壤贮水的消耗量上层略多于中层, 中层略多于下层; 各灌水处理(W1、W2、和 W3)中, 除 W1 中层的贮水消耗量要大于 W0 外, 其它灌水处理或层次的贮水消耗量均要低于 W0, 且呈灌水越多降低越多、土层越深降低越多的趋势。虽然增施磷肥, 各层土壤的贮水消耗量均有一定增加, 但增加最明显的是下层土壤。进一步的分析表明, 磷肥增加土壤贮水消耗的效应也因灌水条件不同而有差异。具体说来, 在 W0 和 W1 中, 上、中层土壤的贮水消耗量变化很小, 而下层土壤的增加明显; 在 W2 和 W3 中, 上层土壤的变化很小, 而中、下层均有一定程度的增加。

2 2 灌水与施磷对产量和产量结构的影响

表 1 列出了不同灌水条件和不同磷肥水平的产量结构和产量。从单位面积穗数来看,各灌水处理(W1、W2 和 W3)之间没有明显的差异,但它们均要明显地多于无水处理(W0),这表明拔节期灌水对增加单位面积穗数具有显著作用;不同的磷肥水平之间,表现出单位面积穗数随磷肥水平提高而增加的明显趋势,即磷肥具有显著增加穗数的作用。而对穗粒数而言,灌水与施磷对其的影响非常有限。从千粒重来看,灌水有利于千粒重的提高,而施磷对千粒重无明显的影响。上述结果表明,施磷对土壤水分不足的补偿效应主要是增加单位面积穗数,而对穗粒数和千粒重无明显影响。

从实际产量来看,灌水和施磷均能明显提高单位面积产量(表 1)。具体说来,二水与三水处理基本一致,二者要明显高于一水处理,后者又要明显高于无水处理;单磷处理(P1)与倍磷处理(P2)之间差异不明显,但二者均明显高于无磷处理(P0)。这一结果表明,在本试验范围内,二水和单磷条件已能基本满足冬小麦对水分和磷肥的要求。

进一步的分析表明,磷肥的补偿效应也受灌水条件的影响,基本趋势是随灌水次数增加而效应下降。如在 W0 条件下,P1、P2 较 P0 分别增产 11.1%和 17.0%;而在 W2 条件下,P1、P2 的增产幅度仅为 1.8%和 3.7%。

表 1 不同灌水和施磷水平的产量结构与产量

处理水平		穗 数 (穗·m ⁻²)	穗粒数 (粒·穗 ⁻¹)	千粒重 (g)	理论产量 (kg·hm ⁻²)	实际产量 (kg·hm ⁻²)
灌水	W0	636.4 bB	27.4 a	37.4 cC	6522	5954 cC
	W1	743.3 aA	27.8 a	40.0 bB	8266	7293 bB
	W2	756.3 aA	28.9 a	40.6 aA	8874	7883 aA
	W3	753.2 aA	28.6 a	40.9 aA	8810	7859 aA
磷肥	P0	692.4 cC	28.1 a	40.0 a	7783	6915 bB
	P1	724.4 bB	28.3 a	39.8 a	8159	7352 aA
	P2	750.0 aA	28.2 a	39.3 a	8312	7476 aA

注:表中 a、b……示 5%显著性差异;A、B……示 1%显著性差异。

2 3 灌水与施磷对经济系数和 WUE 的影响

对成熟期生物产量的方差分析(表 2)表明,无水处理(W0)与灌水处理(W1、W2 和 W3)之间有显著性差异,而各灌水处理之间无显著性差异;无磷处理(P0)与施磷处理(P1 和 P2)之间有显著性差异,而施磷处理之间无显著差异。从经济系数来看,各灌水处理之间和磷肥水平之间,均无显著性差异。这表明产量的高低主要受干物质积累量的影响。从表 2 的水分利用效率(WUE)来看,W1 最高,W0 与 W1 差异不大,而 W2 特别是 W3 要明显低于 W1,表现出随灌

表 2 不同灌水和不同磷肥水平的经济系数和 WUE

项 目	灌 水 水 平				磷 肥 水 平		
	W0	W1	W2	W3	P0	P1	P2
生物产量(kg·m ⁻²)	1.083b	1.333a	1.402a	1.421a	1.246b	1.328a	1.355a
经济系数	0.484a	0.482a	0.495a	0.487a	0.489a	0.488a	0.486a
WUE(kg·m ⁻³)	1.924	1.965	1.842	1.762	1.893	1.864	1.861

注:表中 a、b……示 5%显著性差异。

水量的增加而下降的趋势。而各磷肥水平之间, WUE 的差异极小, 即施磷与否对水分利用效率没有明显影响。上述结果表明, 磷肥的增产效应主要是通过增加冬小麦生物产量来实现的。

3 讨论

磷肥具有促进根系生长、提高根系比表面积, 增加叶面积等的作用^[6, 7], 因而增施磷肥能缓解土壤水分胁迫对作物的不利影响。从本研究的结果来看, 施用磷肥能提高冬小麦对土壤贮水、特别是深层土壤贮水的消耗量(图 1、2)。由于冬小麦拔节前主要消耗 0~100cm 的土壤贮水^[4], 由此可以推测磷肥对土壤水分胁迫的补偿效应主要与其能提高冬小麦拔节期以后的吸水能力有一定关系。由于影响作物根系吸水能力的因素较多, 如根的分布、密度和渗透势等, 因此有必要对磷肥提高根系吸水能力的机理作进一步的研究。

从产量结构和干物质积累分析, 磷肥的补偿效应主要是增加单位面积穗数和干物质积累量, 而对穗粒数、千粒重和经济系数影响很小(表 1、2)。在本试验范围内, 穗数的差异主要决定于有效分蘖数的多寡, 而后者又决定于单株分蘖数和分蘖成穗率。由于冬小麦进入拔节期后一般不再形成新的分蘖, 因此拔节期灌水对穗数的作用主要是提高了分蘖成穗率。而作为基肥施用的磷肥, 对穗数的作用则主要是由于促进了根和叶的生长, 增加了单株分蘖数所致。

综上所述, 可以初步认为, 施用磷肥后促进了冬小麦地上、地下部的生长, 增加了冬小麦有效穗数和干物质积累, 提高了作物中、后期的吸水能力, 从而有效地增加了深层土壤贮水的消耗, 对限水灌溉引起的土壤水分亏缺起到了一定的补偿作用。

鸣谢 张建华博士感谢香港浸会大学 FRG 和香港 Crouch Foundation 的资助。

参考文献:

- [1] 介晓磊. 土壤水分胁迫对冬小麦生长发育、干物质积累与分配的影响[J]. 河南农业大学学报, 1991, 25 (3): 339—350.
- [2] Thompson J A, Chase D J. Effect of limited irrigation on growth of a semi-dwarf wheat in southern New South Wales[J]. Aust J Exper Agric 1992, 32: 725—730.
- [3] 王树安, 周殿玺, 等. 晚播冬小麦春季单期灌水效应的研究. 见: 兰林旺, 周殿玺主编. 小麦节水高产研究[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995. 16—29.
- [4] McMaster G S, *et al.* Irrigation and culm contribution to yield and yield components of winter wheat[J]. Agron J 1994, 86: 1123—1127.
- [5] Rodriguez D, *et al.* Phosphorus nutrition and water stress tolerance in wheat plants[J]. J Plant Nutr, 1996, 19 (1): 29—39.
- [6] 李建民, 王璞, 等. 冬小麦节水高产栽培技术途径及其分析. 见: 中国农学会编. 中国青年农业科学学术年报 A 卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 104—109.
- [7] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和磷营养对小麦根系生长生理特性的影响. 见: 汪德水主编. 旱地农业肥水关系原理与调控技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 101—105.

Compensative Effects of Phosphorus Fertilizer to Limited Water Supply in Winter Wheat Plants

LI Jian-min¹, LAN Xia¹, WANG Pu¹, ZHOU Dian-xi¹, ZHANG Jian-hua²

(1Department of Agronomy, China Agriculture University, Beijing 100094;

2Department of Biology, Hong Kong Baptist University, Hong Kong)

Abstract: The effects of irrigation and phosphorus fertilizer on the water consumption and the yield of winter wheat plants were studied to examine the compensative effects of phosphorus fertilizer to limited water supply. The results showed that the irrigation increased total water consumption of wheat crops, and decreased the soil storage water consumption. The fertilization of phosphorus raised the ability of plants to extract the storage water in lower soil layers, and increased the total water consumption of wheat crops. The irrigation increased the grain yield by raising the ear number per area and the grain weight, and the fertilization increased the yield only by raising the ear number. The irrigation had no effects on harvest index (HI), but decreased the water use efficiency (WUE), while the fertilization did not effect both of the HI and WUE. Above results showed that the phosphorus fertilizer had a certain compensative effects to the soil water deficit caused by limited water supply for winter wheat production.

Key words: Winter wheat; Limited irrigation; Phosphorus fertilizer; Water consumption; Yield